

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **06302881 A**

(43) Date of publication of application: **28.10.94**

(51) Int. Cl.

H01S 3/07

H01S 3/083

H01S 3/10

(21) Application number: **06021383**

(22) Date of filing: **18.02.94**

(30) Priority: **19.02.93 IT 93MI 325**

(71) Applicant: **CAVI PIRELLI SPA**

(72) Inventor: **FONTANA FLAVIO
BOSSO SERGIO**

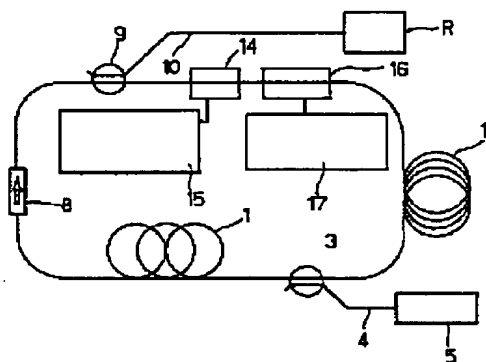
(54) **ACTIVE TYPE MODE LOCKING OPTICAL FIBER
LASER GENERATOR**

COPYRIGHT: (C)1994,JPO

(57) Abstract:

PURPOSE: To provide a variable-wavelength ultra-short pulse optical source robust and stable in operation against mechanical vibrations.

CONSTITUTION: An Er doped active fiber 1 and a polarization control element 11 composed of a polarized plane holding fiber are connected to form a ring resonator which includes an amplitude modulator 14 for synchronization, wavelength selecting acoustic-optical film 16 and isolator 8. From one end of the fiber 1 a pumping wave of a pumping laser 5 is introduced through a dichroic coupler 3. From the other end of the fiber 1 an output pulse is taken up through a directional coupler 9. An r-f pulse generator 15 drives the amplitude modulator 14 to synchronize and thereby mode-lock the system. An r-f generator 17 drives the film 16 to select the center wavelength of the light pulse. Thus structured mechanically robust laser system generates a variable-wavelength ultra-short light pulse in a wavelength range.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-302881

(43)公開日 平成6年(1994)10月28日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 S	3/07	8934-4M		
	3/083	8934-4M		
	3/10	A 8934-4M		

審査請求 未請求 発明の数20 O L (全 10 頁)

(21)出願番号 特願平6-21383

(22)出願日 平成6年(1994)2月18日

(31)優先権主張番号 M I 9 3 A 0 0 0 3 2 5

(32)優先日 1993年2月19日

(33)優先権主張国 イタリア (I T)

(71)出願人 591011856

ビレリー・カピ・ソチエタ・ベル・アツィ
オーニ

イタリア国 20123 ミラノ、ピアッツァ
レ・カドルナ 5

(72)発明者 フラヴィオ・フォンタナ

イタリア共和国ミラノ、コルマノ、ヴィ
ア・クレリチ ヌメロ 14

(72)発明者 セルジョ・ボッソ

イタリア共和国アスティ、ストラダ・ビ
アレラ ヌメロ 9

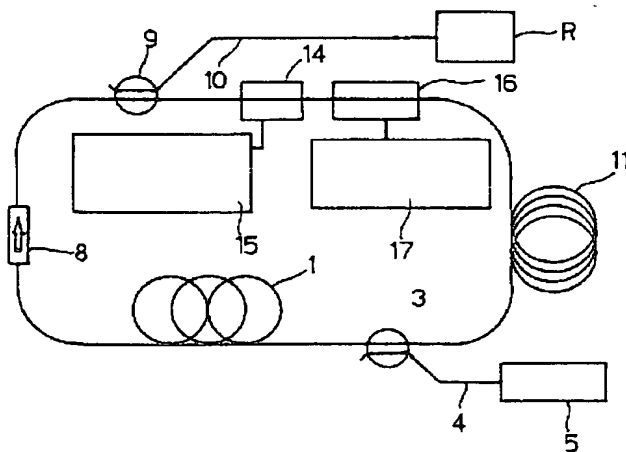
(74)代理人 弁理士 湯浅 恭三 (外6名)

(54)【発明の名称】 能動型モード・ロッキング光ファイバ・レーザ発生器

(57)【要約】 (修正有)

【目的】機械的振動に対して丈夫で動作が安定な可変波長の超短パルス光源を提供する。

【構成】E r ドープ能動型ファイバ1と偏光面保存ファイバから成る偏光制御素子11とを接続してリング共振器を構成する。共振器は同期をとるための振幅変調器14、波長選択用音響光学フィルタ16、アイソレータ8を含む。ファイバ1の一端からダイクロイック結合器3を介してポンプレザ5からポンプ波を導入する。またファイバ1の他端から方向性結合器9を介して出力パルスを取り出す。r fパルス発生器15で振幅変調器14を駆動して同期をとることでモードロックし、r f発生器17で音響光学フィルタ16を駆動して光パルスの中心波長を選択する。このように構成した機械的に丈夫なレーザシステムからある波長範囲で波長可変な超短光パルスを発生する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 蛍光ドーパントでドーパされた能動型ファイバと、

蛍光ドーパントをレーザ放射状態に励起するための、光ポンピング・エネルギーを前記能動型ファイバの一端部に供給する手段とを設け、該ドーパントは前記レーザ放射状態から基底状態へ減衰し得、光放射は放射信号を構成する予め定めた波長に達し、

前記能動型ファイバに直列に接続された、外部から駆動される光電子変調器と、

前記能動型ファイバに直列に接続された、外部から駆動される波長選択フィルタと、

前記能動型ファイバから前記放射信号を引出す手段と、前記能動型ファイバと、ポンピング・エネルギーを供給する手段と、フィルタと、放射信号引出し手段とを含む、レーザ・キャビティを画成する手段と、を設け、前記駆動可能な変調器が、前記キャビティにおける振動放射信号のモード・ロッキングを生じる如き能動型ファイバにより生じる放射信号の変調を生成するためのものである能動型モード・ロッキング・パルス・レーザ発生器において、

前記波長選択フィルタが、相互に運動可能な部分を含む構成要素が存在しない時、結晶基板上の光導波路モノリシック・フィルタからなることを特徴とする能動型モード・ロッキング・パルス・レーザ発生器。

【請求項2】 能動型ファイバにおける前記蛍光ドーパントがエルビウムであることを特徴とする請求項1記載の能動型モード・ロッキング・パルス・レーザ発生器。

【請求項3】 ポンピング・エネルギーを供給する前記手段が、前記能動型ファイバの一端部と予め定めた波長のポンピング・レーザとに対して接続されたダイクロイック結合器を含むことを特徴とする請求項1記載の能動型モード・ロッキング・パルス・レーザ発生器。

【請求項4】 前記駆動可能な光電子変調器が、光チャンネル状導波路を持ち、かつ光電子の予め選択可能な周波数発生器と関連するマッハツェンダー強さ変調器であることを特徴とする請求項1記載の能動型モード・ロッキング・パルス・レーザ発生器。

【請求項5】 前記駆動可能な光電子変調器が、光チャンネル状導波路を持ちかつ予め選択可能な光電子周波数発生器と関連する位相変調器であることを特徴とする請求項1記載の能動型モード・ロッキング・パルス・レーザ発生器。

【請求項6】 波長の選択のための前記フィルタが音響光フィルタであることを特徴とする請求項1記載の能動型モード・ロッキング・パルス・レーザ発生器。

【請求項7】 前記音響光フィルタが、ニオブ酸リチウム結晶基板上で形成された光チャンネル状導波路を有するフィルタであることを特徴とする請求項6記載の能動型モード・ロッキング・パルス・レーザ発生器。

【請求項8】 前記変調器とフィルタとが単一の共通結晶基板上に形成されることを特徴とする請求項1記載の能動型モード・ロッキング・パルス・レーザ発生器。

【請求項9】 前記変調器とフィルタに対する前記共通基板が、少なくとも1つの光チャンネル状導波路を含むニオブ酸リチウム結晶からなっていることを特徴とする請求項8記載の能動型モード・ロッキング・パルス・レーザ発生器。

【請求項10】 前記駆動可能な変調器がマッハツェンダー強さ変調器であることを特徴とする請求項8記載の能動型モード・ロッキング・パルス・レーザ発生器。

【請求項11】 前記駆動可能な変調器が位相変調器であることを特徴とする請求項8記載の能動型モード・ロッキング・パルス・レーザ発生器。

【請求項12】 前記光導波路フィルタ基板が、x軸裁断方位およびy軸伝搬を有するニオブ酸リチウムから作られた結晶であることを特徴とする請求項7記載の能動型モード・ロッキング・パルス・レーザ発生器。

【請求項13】 前記音響光フィルタと光電子変調器に対する共通基板が、x軸裁断方位およびy軸伝搬を有するニオブ酸リチウムから作られた結晶であることを特徴とする請求項9記載の能動型モード・ロッキング・パルス・レーザ発生器。

【請求項14】 前記光導波路モノリシック・フィルタが、前記結晶基板上に堅固に接続された温度制御および調整手段を含むことを特徴とする請求項1記載の能動型モード・ロッキング・パルス・レーザ発生器。

【請求項15】 前記温度制御および調整手段がペルチェ・セルを含むことを特徴とする請求項14記載の能動型モード・ロッキング・パルス・レーザ発生器。

【請求項16】 前記音響光フィルタが、予め定めた長さの光導波路と平行に重なる音響導波路を含み、前記光導波路の一端部には、前記光導波路内で案内される光信号を偏光させる手段が存在する時音波を生じるための一方向性トランスジューサが存在することを特徴とする請求項7記載の能動型モード・ロッキング・パルス・レーザ発生器。

【請求項17】 前記音響光フィルタが、予め定めた長さの光導波路と平行に重なる音響導波路を含み、前記光導波路の一端部には、前記光導波路内で案内される光信号を偏光させる手段が存在する時音波を生じるための一方向性トランスジューサが存在することを特徴とする請求項8記載の能動型モード・ロッキング・パルス・レーザ発生器。

【請求項18】 前記レーザ・キャビティがリングの形態を呈することを特徴とする請求項1記載の能動型モード・ロッキング・パルス・レーザ発生器。

【請求項19】 前記レーザ・キャビティが、少なくとも1つの光アイソレータを含むことを特徴とする請求項18記載の能動型モード・ロッキング・パルス・レーザ発生器。

発生器。

【請求項20】 前記レーザ・キャビティが、直線形態を呈し、かつその各端部に光反射手段を含むことを特徴とする請求項1記載の能動型モード・ロッキング・パルス・レーザ発生器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、アクティブ・モード・ロック（同期）光ファイバ・レーザ発生器に関する。

【0002】

【従来の技術および発明が解決しようとする課題】遠隔通信分野における諸般の状況下では、特に制限される持続時間のパルス・レーザ放射を得ることが望ましい。

【0003】一般に超短パルス（very short pulses）あるいは「ソリトン（soliton）」と呼ばれる持続時間 $\delta t < 100 \text{ ps}$ を持つ上記の種類のパルスは、特に高速デジタル通信（10 Gビット/秒以下）に用いられ、更に光学機器の製造、半導体素子のテスト、また例えばトポグラフィあるいは大気圏レーダ分野における遠隔計測に用いられる。

【0004】この目的に対して、モード・ロック・パルス・レーザ発生器が公知であり、モード・ロッキングとは、レーザにおいて、レーザ・キャビティに存在する非リニア挙動素子の作用により幾つかのモードが相互に一定位相関係で振動するプロセスを意味する。

【0005】光増幅器を含むファイバ・リングが例えば1.5 μm の波長に対する飽和アブソーバとして働き、これらレーザで生成されるパルスがレーザ・リングのサイズに依存するエルビウム・ドーパ・ファイバを用いる光ファイバ・レーザ装置（例えば、図8に示されるレーザ）を含む受動タイプのモード・ロッキング・レーザ発生器は公知である。

【0006】上記のタイプの装置については、例えば、D. J. Richardson, R. I. Laming, D. N. Payne, V. Matsas, M. W. Phillips著「エレクトロニクス論文集（Electronics Letters）」第26巻、第6部、542～543頁（1991年3月14日）、同じ著者の「エレクトロニクス論文集（Electronics Letters）」第27巻、第9部、730～732頁（1991年4月25日）、I. N. Duling著「エレクトロニクス論文集（Electronics Letters）」第27巻、第6部、544～545頁（1991年3月14日）、およびG. J. CowleおよびD. N. Payne著「エレクトロニクス論文集（Electronics Letters）」第27巻、第3部、229～230頁（1991年1月31日）に記載されている。

【0007】レーザをして所要の周波数でモード・ロック・パルスを生成させるように光電子タイプの能動変調

装置が光路に挿入されてレーザ・キャビティを形成する光ファイバ・レーザ装置もまた公知である。

【0008】このような装置は、外部から動作させられる内部の変調装置がレーザに生じたモードで働いてレーザ放射を加えられた変調により選択されるモードのみに保持するレベルまで増幅を可能にする故に、能動モード・ロッキング装置と呼ばれる。

【0009】上記のタイプの装置については、例えば、J. D. Kafta, T. BaerおよびD. W. Hall著「光学論文集（Optics Letters）」第14巻、第22部、1269～1271頁（1989年11月15日）、A. TakadaおよびH. Miyazawa著「エレクトロニクス論文集（Electronics Letters）」第26巻、第3部、216～217頁（1990年2月1日）、C. HarveyおよびL. Mollenauer著「CLEO '92 Anaheim, Paper C214」、およびT. PfeifferおよびH. Schmuck (SEL Alcatel Research Centre) 著「光増幅器に関する第2回課題会議事録（Proceedings of II Topical Meeting on Optical Amplifiers）」116～119頁（Optical Society of America, Snowmass Village, Colorado, USA, 1991年）に記載されている。

【0010】能動および受動の両タイプのモード・ロッキングのための理論的基礎は、例えば、H. A. Haus著「オプトエレクトロニクスにおける波動および場（Waves and Fields in Optoelectronics）」254～290頁（Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 1984年発行）に示される。

【0011】その動作が励起変調を考察から外した受動型モード・ロッキング発生器は、発生器の物理的特徴、特に反射毎に1つのパルスが移動するレーザ・システムを構成するファイバ・リングのサイズに緊密に依存するソリトン・パルス放射周波数を有するという特徴を持っている。

【0012】対照的に、能動型モード・ロッキング発生器においては、パルス放射周波数は変調器の励起周波数に依存し、これがリング中を同時に移動する多数の同期されるパルスが存在することを可能にし、従ってパルス放射周波数を例えばGHzレベルにおいて受動型装置におけるよりもはるかに高くなるように前以て選択することを可能にする。

【0013】以上のことに加えて、モード・ロッキング・レーザ発生器は、同じファイバで異なるソースに給電すると共に接続線におけるファイバの色分散特性に適合

するように、放射されるパルスの放射波長を所与の周波数帯域内、例えば、通信で一般に使用される帯域である1530~1560nmの帯域内に選択することを可能にするフィルタを設けることができる。

【0014】前記の文献におけるT. PfeifferおよびH. Schmuck (SELA Icatel Research Centre) は、エルビウム・ドープ能動型ファイバ、光ファイバ付勢用ポンプ・レーザ、光遮断器、放射波長の選択のためファブリーペロー (Fabry-Perot) 同調フィルタが用いられたLiNbO₃で作られた光電子振幅変調器を含む上記のタイプのリング・レーザについて記述している。

【0015】しかし、本出願人のテストに基けば、上記のレーザは先に述べた実験条件で動作するが、動作の安定性に関して非常に臨界的であることが証明された。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、前記臨界的な挙動は、温度変化と装置における振動などの両方による代替要因により生じるものと見做される。

【0017】従って、このような臨界的な状態により、満足し得る結果を達するためには機械的視点から特に複雑な構造が要求され、この構造は単なる研究室の実験はさておいて、実際の使用には結果的に適当でない。

【0018】本発明によれば、波長の同調が可能である能動型モード・ロッキングタイプの能動型エルビウム・ドープ光ファイバを用いるファイバ・レーザが、空間的な運動調整装置がなくとも達成されるならば、高い動作安定性と機械的動揺に対する抵抗性を持つことが判った。

【0019】特に、放射波長を同調するためのフィルタが平面光学系で作られる能動型モード・ロッキング・レーザ・システムが、特定の補強ならびに機械的安定構造がない場合でも、動作における高い放射安定性の達成を可能にすることが判った。

【0020】本発明の目的は、下記の構成を有する能動型モード・ロッキング・パルス・レーザ発生器の提供にある。即ち、

- 蛍光ドーパントでドープされた能動型ファイバと、
- 蛍光ドーパントをこのドーパントが基底状態へ減衰するレーザ放射状態に励起し、光の放射が放射信号を構成する予め定めた波長となるようにする能動型ファイバの一端部へ光ポンピング・エネルギーを供給する手段と、
- 前記能動型ファイバに対して直列に接続された、外部から駆動される光電子変調器と、
- 前記能動型ファイバと直列に接続された、外部から駆動される波長選択フィルタと、
- 前記能動型ファイバから前記放射信号を引出す手段と、
- 能動型ファイバと、ポンピング・エネルギーを供給するための手段と、変調器と、フィルタと、信号引出し手段

とを含むレーザ・キャビティ生成手段とを含み、前記駆動可能な変調器が、前記キャビティにおいて振動放射信号のモード・ロッキングを生じる如き能動型ファイバにより生成される放射信号の変調を生じるためのものである能動型モード・ロッキング・パルス・レーザ発生器において、前記波長選択フィルタが、空間的な構成の変化を受ける構成要素が存在しない時臨界状態にある光導波路モノリシック・フィルタからなることを特徴とするパルス・レーザ発生器である。

【0021】望ましくは、前記能動型ファイバにおける蛍光ドーパントはエルビウムである。

【0022】特に、ポンピング・エネルギーを供給する前記手段は、能動型ファイバの一端部と予め定めた波長のポンピング・レーザとに接続されたダイクロイック (dichroic) 結合器を含む。

【0023】特定の実施態様においては、前記の光電子駆動可能な変調器は、電子的な予め定め得る周波数発生器と関連する光チャンネル状導波路を有するマッハツェンダー強度変調器 (Mach-Zehnder intensity modulator) である。

【0024】別の実施態様においては、駆動可能な光電子変調器は、電子的な予め定め得る周波数発生器と関連する光チャンネル状導波路を有する位相変調器である。

【0025】特に、波長の選択のためのフィルタは、音響光学フィルタであり、特に、この音響光学フィルタはニオブ酸リチウム (lithium niobate) から作られた光チャンネル状導波路を有するフィルタである。

【0026】望ましい実施態様においては、前記変調器およびフィルタは、単一の共通結晶基板上に形成される。

【0027】更に、前記変調器およびフィルタに対する共通基板は、少なくとも1つの光チャンネル状導波路を含むニオブ酸リチウム結晶からなっている。

【0028】特定の実施態様においては、前記変調器およびフィルタは単一の共通結晶基板で形成され、駆動可能な変調器はマッハツェンダー変調器であり、あるいはまたこの駆動可能な変調器は位相変調器である。

【0029】望ましくは、前記光導波路フィルタ基板は、x軸配向とy軸伝搬とを有するニオブ酸リチウムから作られた結晶である。

【0030】更に望ましくは、前記音響光学フィルタおよび光電子変調器に対する共通基板は、x軸配向とy軸伝搬とを有するニオブ酸リチウムから作られた結晶である。

【0031】望ましい実施態様においては、前記光導波路モノリシック・フィルタは、結晶基板に堅固に結合された温度制御および調整手段を含み、特にこの温度制御および調整手段はペルチエ (Peltier) ・セルを含む。

【0032】特に、独立形態および光電子変調器との組合わせの双方における前記音響光学フィルタは、予め定めた長さの光導波路と平行でありかつこれに重なる音響導波路を含み、その一端部には、前記光導波路内部で誘導される光信号を偏光する手段が存在する時音響波を生じるための一方向性トランスジューサが存在する。

【0033】望ましい実施態様においては、レーザ・キャビティはリング形態を呈し、また望ましくは少なくとも1つの光アイソレータを含んでいる。

【0034】別の実施態様においては、このレーザ・キャビティは直線的形態を呈し、その各端部に光反射手段を含んでいる。

【0035】更なる詳細については、添付図面に関する以降の記述から明らかになるであろう。

【0036】

【実施例】光ファイバ能動型モード・ロッキング・レーザが、図1に示した図に従って全体的に構成される。

【0037】このようなレーザは、一方のファイバ先端部4がポンプ・レーザ5と接続され第2のファイバ先端部6が光ファイバ・リング7と接続されたダイクロイック結合器3のファイバ後端部2に一端部で接続された、蛍光物質、例えばエルビウムでドープされた能動型ファイバ1を含み、前記光ファイバ・リングには光アイソレータ8と、ファイバ後端部10を介して生成された信号が放出される方向性結合器9とが挿入され、偏光コントローラ11がリング、あるいは更に一般的にレーザ・キャビティを形成する他のファイバの偏光特性を補償することを可能にする。

【0038】このように作られたレーザは、光ポンピング・エネルギーの能動型ファイバに対する供給により、能動型ファイバに含まれる蛍光ドーパントをレーザ放射状態に励起する波長で働き、このようなレーザ放射状態から、前記ドーパントが、同じ波長の光信号のファイバ通過と同時に並びにその後に光信号の予め定めた波長での放射により基底状態に減衰し得る。

【0039】このような光信号は、レーザ・キャビティの形成により能動型ファイバ中を何回も移動することになり、その結果この光信号は損失を上回る十分なレベルに逓倍増幅されることにより、引出すことができるレーザ信号即ち放射信号を生成する。

【0040】光電子振幅または位相変調器12がファイバ・リングに更に挿入され、能動型モード・ロッキング・レーザの動作を、図示しない無線周波数の方形波または正弦波発生器による適当な周波数の外部の電子的駆動によって行うことを可能にする。

【0041】本文での無線周波数の終端としては、100MHz乃至2~3GHz、あるいはそれ以上の周波数を意図する。

【0042】更に、本レーザは、フィルタ13により放射波長に同調される。

【0043】公知技術においては、このフィルタは、典型的には、実質的に2つの平行面および対向面の各々に反射コーティングが施された2つの光ファイバの端部に接続された1対の可変屈折率レンズを含むファブリーペロー・フィルタからなっており、距離自体に依存する波長での構造的干渉を生じる種々の反射を信号が受ける前記2つの面を隔てる距離は、圧電素子の如き駆動可能手段により調整することができ、これにより所要の波長の選択を可能にする。

【0044】しかし、ファブリーペロー・フィルタにおいては、反射面間の距離とその時間の一定性は、このフィルタが温度の変化と装置における振動などとの双方による変動を免れないため非常に厳密である。

【0045】フィルタ構成要素の相対的位置の保持の欠如と実質的に結び付いたこのような臨界的特徴は、外部の変動がリングの大きさとフィルタ特性との双方を変化させる故に、レーザ全体の動作に影響を及ぼす。

【0046】上記のことは、レーザにおけるモード同期を維持するため、変調器の励起周波数を周期的に調べて調整することを必要とし、またこのため放射波長が時間的に一定でないという事実をもたらす。

【0047】一例として、ファブリーペロー・フィルタの使用により研究室で作られる上記のタイプのレーザは、モード同期動作を維持するために15分毎に光電子変調器の駆動周波数の調整を必要とし、周波数変調における3~4KHzの変動が生じる。

【0048】一方、研究室における動作条件は非常に一定しており、産業的使用において予期され得るものと比較してこれよりはるかに容易であり、その結果このように構成されたレーザは単なる実験ではない実際の使用には適当でない。

【0049】管理された研究室環境以外の使用である特に実際の使用に関して十分に実用的な信頼性を上記のタイプの装置に保証する目的のため、実現が難しい充分な隔離と温度管理手段とが、機械的な擾乱に対する複雑な支援および隔離システム、反射フィルタ面と他の類似の装置間の距離を調整するための光学的装置と共に要求される。

【0050】実際の使用に対して要求される信頼性を提供するための本発明によるモード・ロッキング・レーザは、図2に示される形態で作られたものであり、同図では図1に示した一般的構造において既に述べた構成要素は同じ参照番号により識別される。

【0051】このレーザは、980nmで動作するポンプ・レーザ5から供給されるダイクロイック結合器3と接続されたエルビウム・ドープ能動型ファイバ1を含み、この能動型ファイバ1のダイクロイック結合器3とは反対側の端部は、リングにおける一方向の伝搬を許容する光アイソレータ8を介して、放射信号がファイバ後端部10から引出される方向性結合器9に接続されてお

り、偏光制御素子11もまた設けられている。

【0052】モードの同期は、電子的な無線周波(rf)パルス発生器15と接続されたマッハツェンダー干渉計を提供するタイプの振幅変調器14により達成される。

【0053】放射波長は、rf発生器17と更に接続された音響フィルタ16により調整される。

【0054】図示した実施例においては、方向性結合器9からの光ファイバ10が、レーザ放射信号が分析された受信装置Rと接続されている。

【0055】リングの全長は約20mであった。

【0056】用いられた能動型ファイバ1の特性は下記の如くである。即ち、

ファイバ長さ	15m
ファイバの種類	Si/AI
開口数	NA=0.2
遮断波長	$\lambda_c=900\text{nm}$
コア中のエルビウム成分	100 ppm

ダイクロイック結合器4は、波長が980および1536nmの2つの単一モード・ファイバで構成された融解ファイバ結合器であり、偏光に依存する光出力の変動は0.2dBより小さい。

【0057】上記の種類のダイクロイック結合器は公知であり、例えば、米合衆国メリーランド州Glen Burnie, Baymeadow DriveのGould Inc., Fibre Optic Divisionと、連合王国デボン州Torquay, Woodland RoadのSifam Ltd., Fibre Optic Divisionにより製造される。

【0058】ポンプ・レーザ6は、下記の特性を有する「歪み量子井戸(strained quantum well)」として公知の種類のレーザである。即ち、

放射波長	$\lambda_p=980\text{nm}$
最大光出力	$P_u=60\text{mW}$

上記の種類のレーザは、例えば、米合衆国ニュージャージー州Princeton, Washington Rd.のDavid Sarnoff Research Centerにより製造される。

【0059】方向性結合器9は、その入口の1つに存在する光信号をその出口で予め定めた比に分割するための装置である。

【0060】この方向性結合器9は、50/50の分割比を有する市販形式の結合器、例えば、上記の会社Gould Inc.により製造されるモデル1550 POH50/50 2x2である。

【0061】先に述べた異なる構成要素を相互に結合する光ファイバは、タイプ8/125(8はコア径を、125はファイバの被覆径を μm 単位で表わす)の単一モード光ファイバであり、コアはゲルマニウムでドーパされて開口数NA=0.13を有する。

【0062】偏光制御素子11は、連続的に配置され所要の調整を行うため共通整合軸に対して調整可能なように支持された幾つかの光ファイバ・コイルからなっている。

【0063】上記のタイプの装置は、連合王国Case well, Towcester Northants NN12 8EQのGEC Marconi Materials Technology Ltd.から入手可能である。

【0064】光アイソレータ8は、分離が35dBより大きく反射率は-50dBより小さい送信信号の偏波とは独立的なタイプの偏光制御を行うための任意のアイソレータである。

【0065】使用したアイソレータは、米合衆国ニュージャージー州Dover, Harding Avenue 64のIsowave社から入手可能なモデルMD LI-15 PIPT-A S/N 1016である。

【0066】受信装置Rは、米合衆国のFEMTO-CROME Inc.により製造される非共線形自己相関器、モデルFR-1 3KRからなっている。

【0067】放射帯域もまた、光スペクトル分析器を介して測定され、使用した装置は、米合衆国イリノイ州IL 60069, Lincolnshire, Knightsbridge Parkway 300のAVANTEST社製のモデルT18346である。

【0068】強さ変調器は、ニオブ酸リチウム(LiNbO₃)で作られた、チャンネル状導波路と市販形式の進行波電極とを持つマッハツェンダー干渉計変調器であり、使用したモデルは出願人により作られPIRMZM 25 3 00なる商標名で販売されている。

【0069】音響光フィルタ16は、図3および図4に詳細に示されている。

【0070】同図から判るように、フィルタ16は、y軸伝搬方位を持ち放射波長帯域において単一モードである光チャンネル状導波路19がチタニウムの拡散により作られたLiNbO₃のx軸裁断結晶からなる基板18から形成され、そのため基板のニオブ酸リチウムの屈折率は要求される経路内に光信号を拘束するように局部的に増大する。

【0071】光導波路19に沿って1対の音響光トランスジューサ20が存在し、このトランスジューサは、印加される電氣的付勢の結果として結晶に伝搬する音波を圧電効果により生じるための、幾つかの櫛型電極が交互になり導波路と重なる金属板からなっている。

【0072】音波導波路22は、光導波路19の側面に画成されており、これは音波が中心領域22へ案内されるようにこの中心領域に対して側面領域における音波の伝搬速度を増すため、チタニウムがニオブ酸リチウム基板中に拡散される2つの側面領域23により囲まれている。

【0073】TE透過型の偏波器24は電極21の上流側にあるが、TM透過型の偏波器25は電極21の下流側にある。

【0074】TE透過型偏波器24は、金属層がオーバーレイされた光導波路19へ添付された予め定めた厚さの誘電性材料（酸化シリコンの如き）からなり、この偏波器は偏波光信号成分がLiNbO₃結晶面の面内を通過することを可能にする。

【0075】TM透過型偏波器25は更に、長さで数ミリメートルにわたって導波路の側面となる2つの陽子交換領域からなっており、この偏波器はLiNbO₃結晶面と直角をなす面内に偏波された光信号成分が通過することを可能にする。

【0076】音響吸収層26が、電極21に対して反対側でTM透過型偏波器25から予め定めた距離に存在し、これは音波を吸収し、従って音波が光波と更に相互作用することを阻止するための結晶面に添付された音響吸収材料からなっている。

【0077】図4に略図的に示される如く、導波路19の端部に接続されているのは、残りのレーザ構成要素にフィルタが接続される相互結合ファイバ27である。

【0078】強さ変調器を駆動するrf発生器15は、レーザにより生じる光パルスの所要の放射周波数と、励起周波数が倍数でなければならないそれ自体の基本（中継）周波数を持つレーザ・キャビティ特性とに関して100MHz乃至2.4GHzの範囲内の選択可能な周波数を持ち、先に述べた実験において使用された周波数は約635MHzであった。

【0079】音響フィルタを駆動するrf発生器17は更に、所要の場における光レーザ・パルスの波長を選択するため170乃至180MHz間の範囲の選択可能周波数を持っていた。

【0080】強さ変調器は、特にパルスの短さと一定性

に関して最良の特性が与えられたパルスを生じると共に、特に高速通信のため要求される用途のため、300MHzより高い周波数で用いられる。

【0081】音響光フィルタは、実験中同調されなかった熱制御および調整装置28が備えられ、レーザ組立全体は室温でテストされた。

【0082】先に述べた構造を持つレーザは、研究室での動作に設定されて安定動作を呈し、選択された波長領域（1530乃至1560nm）における全ての波長にわたって規則的な間隔でパルスを発し、1kHzより低いrf発生器15の放射周波数の調整は、放射されたパルスのみ特性を最適化する目的のため8時間の連続的使用の後に必要であり、テストされた放射波長はスペクトル分析器の分解能と対応する0.1nm内で安定していた。

【0083】明瞭には記録されなかったが、レーザがテストされた環境における温度は、機械的擾乱を排除するかあるいは制限するための特別な方策は同時に行わなかったが、テストの進行中に平均値21℃に対して±2℃の範囲内で変動したものと見られる。

【0084】選択された波長の1つに対するパルスと関連スペクトルとに対する自己相関図が図5および図6にそれぞれ示される。

【0085】下記の表1は、光電子変調器および音響光フィルタの選択された放射波長と関連駆動周波数との一部を事例としてのみ示している。

【0086】当業者は、示された周波数が上記の実験の構造に対応すること、および組立ての他の異なる構造および関連する構成要素に対して同じ結果を達成するために異なる周波数が要求されることを容易に理解されよう。

【0087】

表 1		
モード・ロッキング 周波数 (MHz)	フィルタ周波数 (MHz)	放射波長 (nm)
635.693	177.092	1532.8
635.691	176.492	1538.5
635.689	175.492	1546.5
635.688	174.792	1552.0
635.686	173.992	1558.3

以上のことから明らかなように、テスト・レーザが公知技術よりも信頼性および性能の一定性に関してはるかに良好な結果を呈し、重要な温度変動に曝される環境におけるレーザのあり得る使用に特に照らしてレーザの動作の安定性を更に増進するためには、ペルチェ・セル、熱センサおよび関連調整回路からなる音響光フィルタに用いられる熱調整装置28を投入することが望ましい筈であり、これにより重要な環境温度の変化が存在する場合でもフィルタ温度を非常に正確な方法で一定に保持する

ことができる。

【0088】フィルタのモノリシック構造、および全長が数センチメートルを越えず、厚さおよび幅が数ミリメートル程度である小さなサイズもまた断熱材および熱調整装置の双方によってその温度を容易に制御できることが判る。

【0089】レーザを生じるために使用されたファイバおよび構成要素により生じた信号偏波の変動を補償するために偏光制御素子11が上記の事例のレーザにおいて

使用されたが、偏光保持ファイバおよび構成要素がレーザにおいて使用されるならば、偏光制御素子11を取除くことができる。

【0090】更に、集積された音響光フィルタの使用は、更に他の利点を提供することが可能な別の実施例において、フィルタおよび変調器を図7、図8、図9に示される如き単一平面光素子29から作ることを可能にする。

【0091】図7に示されるように、y軸伝搬方向を有するx軸裁断二オブ酸リチウム結晶からなる単一の基板30上には、構成要素がその記述を指摘し得る図3に用いられた同じ参照番号により示される音響光フィルタを形成する部分31があり、これに隣接してマッハツェンダー干渉計を有することにより集積された変調および同調組立体を構成する光電子変調器を形成する部分32がある。

【0092】変調器32を形成する部分には、フィルタ31の導波路19の延長部を形成する光導波路33が、後で変調器の出力端34で一緒に接合される2つの部分33aと33bとに分割されている。

【0093】電子rf発生器15の出力に交互に接続された電極35、36、37は、光電子的効果により信号が分割された前記2つの部分間に位相の偏移を生じて、その結果接合と同時に所要の強さ変調が干渉により生じる。

【0094】上記の集積された実施例は、特にファイバと種々の構成要素との間に必要な接続数を少なくすることができるという事実のお陰で、レーザ構造を非常に簡素化することを可能にする。

【0095】以上のことは、図7に示される図における如き偏光等化器のないレーザの製造に偏光を維持するファイバが用いられる時に特に有効である。実際に、このようなファイバの場合は、偏光面内に正確に整合されたスプライスを達成するため必要な溶着作業の複雑さの故に、要求される溶着回数を最小限に低減することが望ましい。

【0096】図9に示される本発明の更に別の望ましい実施例によれば、組立体29の単一基板に集積された光電子変調器は位相変調器38からなり、この周波数変調器は基板30の結晶における導波路19の延長部に作られた光導波路39で形成され、この延長部に沿ってrf発生器15に電極40、41が接続されている。

【0097】公知の光学原理に従って、前記電極40、41に加えられた電気信号は、光導波路39内の光伝搬特性を変更し、その結果導波路自体に伝搬する光信号の位相変調を生じることになる。

【0098】このような変調は、レーザに生じるモード間の線形的に増加する位相偏移を生じてその同期（ロッキング）を生じ、これにより所要の超短パルスを生じる。

【0099】個々の形態と光電子変調器と一体化された形態の双方における音響フィルタは、図3、図8、図9におけるブロックに示される、所要の偏光状態のみの通過を可能にしてあり得る残留成分を取除くための第2のTE透過型偏波器24を含むことが望ましく、別の実施例では、レーザ・キャビティを形成するファイバが偏光状態を有効に維持することができるならば、TE透過型偏波器を省くこともできる。

【0100】本発明の目的のために、光アイソレータ8および偏光セクタ11（もし存在するならば）はレーザ・キャビティ内に配置することができ、ポンピング・エネルギーが大きな減衰なしに能動型ファイバ自体に供給できることを前提として、ポンプ・レーザ5および関連するダイクロイック結合器3をも能動型ファイバ1のいずれか一方の端部と接続状態に配置することができる。

【0101】本文の記述は本発明の望ましい実施態様を構成するリング・タイプのファイバ・レーザについて述べたが、本発明はまた、レーザ・キャビティが線形形式である図10に事例として示されるものの如き異なる形態のレーザにも適合する。

【0102】この実施例においては、能動型ファイバ1が高反射率ミラー42と部分反射出力結合器43とにより囲まれたレーザ・キャビティ中に挿入され、ポンプ・レーザ5が、結合器3を介して能動型ファイバ1にエネルギーを供給し、集積された変調および同調組立体29が、関連するrf発生器15、17と共に、反射要素42、43により画成されるレーザ・キャビティ中に置かれる。

【0103】以上の記述による組立体29は、相互に分けられた光電子変調器と音響光フィルタとで置換することができる。

【0104】また、当業者には、先に述べたものと異なる形態を持つ同調可能フィルタが、変調器がそれぞれの空間的形態および配置されるレーザ・キャビティの大きさの偶発的な変形を生じ易い空間的運動を受ける要素のない能動型モード・ロッキング・パルスを生じるものであることを前提として、考えられる異なる変調器形態と共に、本発明の範囲に該等することが理解されよう。

【図面の簡単な説明】

【図1】能動型モード・ロッキング・レーザ装置を示す全体図である。

【図2】本発明による能動型モード・ロッキング・レーザ装置を示す図である。

【図3】本発明によるレーザに適用される平面光フィルタを示す平面図である。

【図4】図3に示される平面光フィルタを示す斜視図である。

【図5】選択された波長に対する本発明のレーザの自己相関図を示すグラフである。

【図6】図5に示された図の波長に対する放射スペクト

ルを示すグラフである。

【図7】本発明の別の実施例によるレーザ装置を示す図である。

【図8】図7に示されたレーザに対するフィルタと振幅変調器を含む集積素子を示す平面図である。

【図9】図7に示されたレーザに対するフィルタと位相変調器を含む集積素子を示す平面図である。

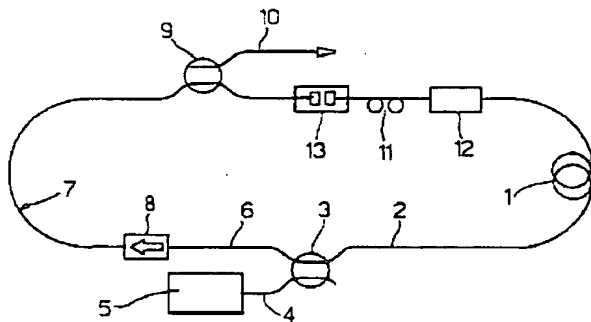
【図10】本発明の更に別の実施例によるレーザ装置を示す図である。

【符号の説明】

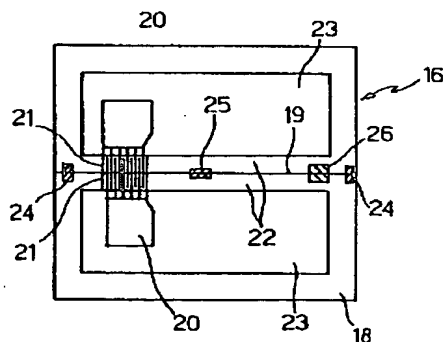
- 1 能動型ファイバ
- 2 ファイバ後端部
- 3 ダイクロイック結合器
- 4 ファイバ先端部
- 5 ポンプ・レーザ
- 6 第2のファイバ先端部
- 7 光ファイバ・リング
- 8 光アイソレータ
- 9 方向性結合器
- 10 ファイバ後端部
- 11 偏光制御素子
- 12 光電子振幅変調器

- 13 フィルタ
- 14 振幅変調器
- 15 無線周波(rf)パルス発生器
- 16 音響光フィルタ
- 17 無線周波(rf)発生器
- 19 光チャンネル状導波路
- 20 音響光トランスジューサ
- 21 電極
- 22 音波導波路
- 24 TE透過型偏波器
- 25 TM透過型偏波器
- 26 音響吸収層
- 27 相互結合ファイバ
- 28 熱制御および調整装置
- 29 単一平面光素子
- 30 基板
- 38 位相変調器
- 39 光導波路
- 40 電極
- 41 電極
- 42 高反射率ミラー
- 43 部分反射出力結合器

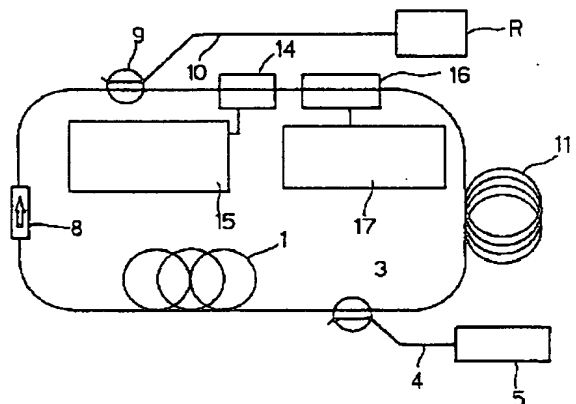
【図1】



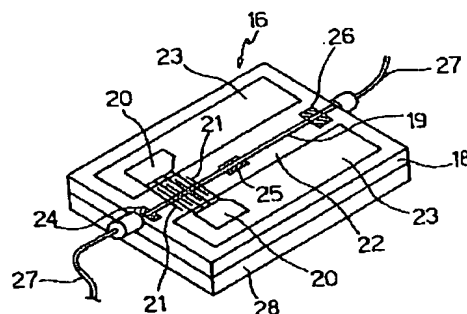
【図3】



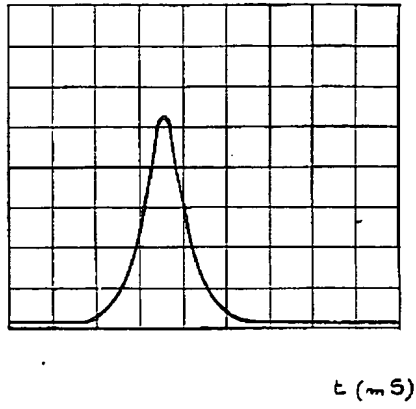
【図2】



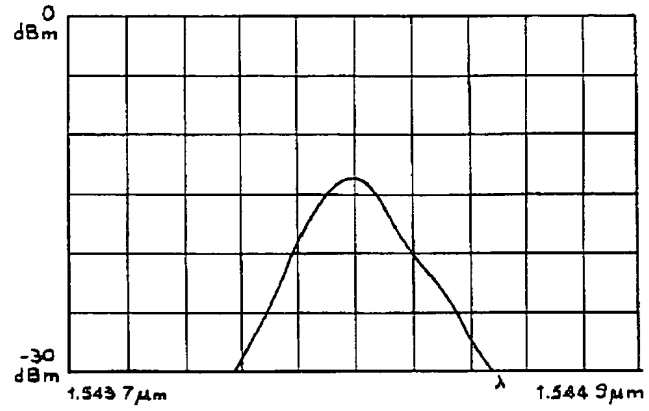
【図4】



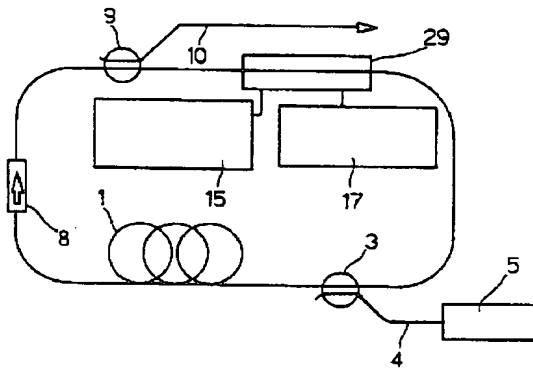
【図5】



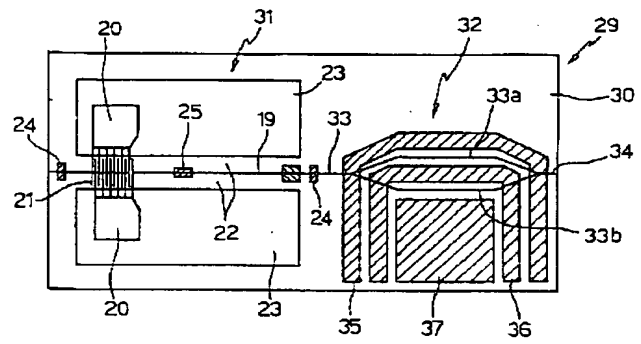
【図6】



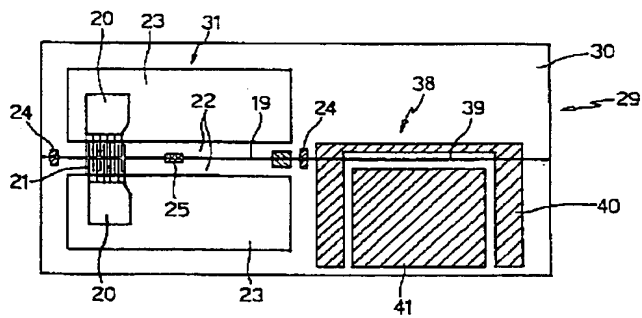
【図7】



【図8】



【図9】



【図10】

